

В.В. Стрілець, д.т.н., доцент, НУЦЗУ
Ю.М. Сенчихін, к.т.н., професор, НУЦЗУ
К.М. Остапов, викладач, НУЦЗУ
В.В. Сировий, к.т.н., доцент, НУЦЗУ

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ПОДАВАННЯ ГЕЛЕУТВОРЮЮЧИХ СКЛАДІВ

Отримано теоретичні і практичні результати аналізу процесу подавання вогнегасних речовин (ВГР), що дозволяють будувати траєкторії руху струменів гелеутворюючих складів зі складанням алгоритмів трасування їх руху, що необхідно при вирішенні задач забезпечення ефективного гасіння і захисту об'єктів пожежогасіння з мінімальними витрати ВГР. Встановлено, що проведення досліджень щодо ефективного застосування бінарної подачі струменів гелеутворюючих сумішей (ГУС) до модельних осередків пожежі, де замість ГУС використовується вода, дає змогу отримувати достовірні результати пожежогасіння з надійністю 0,95.

Ключові слова: гелеутворюючі склади (ГУС), вогнегасні речовини (ВГР), траєкторії руху, кут, швидкість.

Постановка проблеми. Розвиваючи ідеї досліджень [1, 2] в частині гасіння пожеж гелеутворюючими складами (ГУС) із застосуванням автономних установок гасіння типу АУГГУС і АУГГУС-П, доводиться констатувати, що однією з проблем підвищення ефективності пожежогасіння гелеутворюючими складами, є своєчасне змішування і як наслідок гелеутворення компонентів ГУС, що істотно впливає на кількість вогнегасних складових ГУС, які безпосередньо беруть участь у гасінні (коефіцієнт використання) [3].

У зв'язку з цим, локалізація і ліквідація виникаючих загорянь і пожеж класу А, вимагає не тільки збільшувати кількість поданих на вогнище вогнегасних складів, а й застосовувати при цьому відповідне тактичне забезпечення. Тобто, до всього іншого, мати і кваліфіковано використовувати науково обґрунтовані рекомендації про те яким найбільш ефективним чином працювати з пожежно-технічним оснащенням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У літературі з пожежної справи досить повно досліджені питання пожежогасіння подачею компактних і розпилених струменів води в осередок пожежі за допомогою лафетних і ручних стволів. Розроблено методи та методики моделювання самого процесу гасіння пожеж [4, 5]. Однак питання, пов'язані з дистанційною подачею бінарних потоків гелеутворюючих складів при пожежогасінні, а так само вивчення руху компонент ГУС розглядаються нами вперше.

Постановка задачі та її рішення. Мета дослідження - аналіз траєкторій прицільного руху складових ГУС, що подаються з двох стволів-розпилювачів на вогнище пожежі.

Для отримання фактичного експериментального матеріалу спочатку вирішувалося завдання аналізу руху струменів ВГР в Декартовому просторі (рис. 1) з урахуванням так званих Ейлеревих кутів (α – підвищення стволів відносно горизонту і ψ – їх відхилення відносно площини націлювання OXZ на об’єкт пожежогасіння).

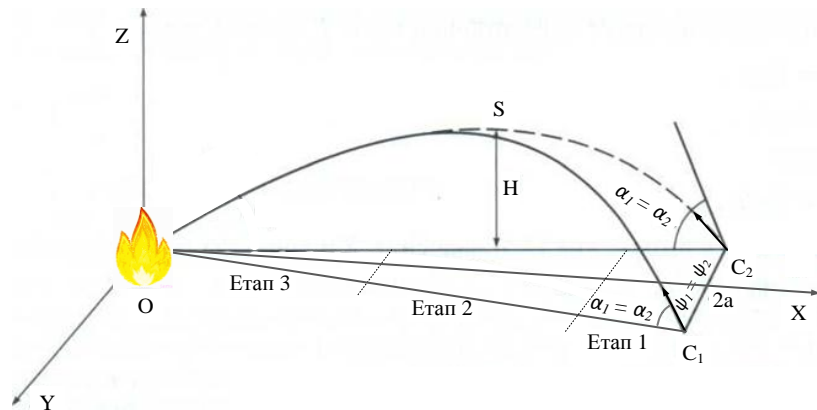


Рис. 1. Схема прицілювання з точок C_1 і C_2 стволів C_1 і C_2 , що симетрично (відносно площини XOZ) подають дві компоненти ВГР/ГУС на умовний епіцентр пожежі в точку $O(0,0,0)$

Достовірність отриманих результатів. За необхідності підвищення продуктивності натурних випробувань з подачі ГУС, замість гелеутворюючих сполук доцільно використовувати підфарбовану воду, яка більш доступна, та за своїми гідродинамічними властивостями близька до ГУС (табл. 1).

Таблиця 1

Порівняльні гідродинамічні параметри ВГР (вода) з ГУС

№ з/п	Робочі розчини		Густина, кг/м^3	Поверхневий натяг, $\times 10^{-3}$, Н/м
1.	Вода		1000	72,8
2.	ГУС (1)	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2(3\%)+$	1040	
		$\text{CaCl}_2(3\%)$	1040	
3.	ГУС (2)	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2,95\text{SiO}_2(12\%)+$	1075	
		$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(25\%)$	1125	

Порівняння результатів, отриманих як у випадку подачі у якості ВГР гелеутворюючих сумішей (ГУС 1 та ГУС 2), так і у випадку подачі води довело достовірність її застосування в подібних

дослідженнях. За формулою (1) це було перевірено (див. табл.2) укладанням отриманих результатів з використанням ГУС в довірчі інтервали, які були розраховані з надійністю 0,95 порівняно з результатами використання води:

$$x = \bar{x} \pm 1.96 \cdot \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}, \quad (1)$$

де n – кількість випадків попадання в ціль при подаванні підфарбованої води, за результатами для яких визначались відповідні математичні очікування \bar{x} та середньоквадратичні відхилення σ_x для дальності, ширині подачі та часу руху.

Таблиця 2

Результати подачі компактних струменів ВГР/ГУС на мішень-екран установкою АУГГУС з однаковими кутами нахилу стволів при різних тисках в установці

№ з/п			Дальність подачі, м				Ширина подачі, м			
			1,5	2	2,5	3	1,5	2	2,5	3
1		Тиск, МПа	1,5	2	2,5	3	1,5	2	2,5	3
2	Вогнегасна суміш	ГУС 1	2,9	3,4	3,9	4,4	0,5	0,6	0,65	0,75
3		ГУС 2	3	3,5	4	4,5	0,5	0,6	0,65	0,75
4		Вода фарбована 1	2,8	3,3	3,8	4,3	0,5	0,6	0,65	0,75
5		Вода фарбована 2	3	3,5	4	4,5	0,45	0,55	0,6	0,7
6		Вода фарбована 3	2,95	3,5	3,95	4,5	0,55	0,65	0,7	0,8
7		Вода фарбована 4	2,9	3,45	3,9	4,35	0,55	0,6	0,75	0,85
8		Довірчий інтервал		2,81	3,32	3,81	4,32	0,47	0,56	0,61
9			3,02	3,55	4,02	4,55	0,56	0,64	0,74	0,84

Як і очікувалося, рух обох струменів ВГР (підфарбована вода), що імітували подачу компонент ГУС на об'єкт пожежогасіння, здійснюється за параболічними траєкторіями. За допомогою отриманих фото і відео матеріалів, при застосуванні води в експериментах можливо досить точно прогнозувати геометричні параметри траєкторій руху і складових ГУС (наприклад, максимальну дальність та ін., як це доведено таблицею 2) в залежності від Ейлеревих кутів і робочого тиску (напору) в стволах-розпилювачах.

Відомі математичні прийоми, викладені в роботах [6, 7], які застосовні при аналітичних дослідженнях траєкторій руху кожної зі складових ГУС окремо. У них передбачається, що одиночний струмінь ВГР, спрямований під кутом до горизонту (рис. 2), здійснює рух в повітрі, опір якого пропорційно швидкості елементарних частинок струменя (крапель). Щоб встановити параметри траєкторії руху такого струменя досліджуваний процес ідеалізується і вводиться допущення, що дрібнення крапель за рахунок присутності в водних розчинах ВГР/ГУС спеціальних добавок відсутня. Тоді спираючись на класичні схеми досліджень руху тіл, кинутих під кутом до горизонту, будемо мати траєкторії польоту крапель такі, як показані на рис. 2:

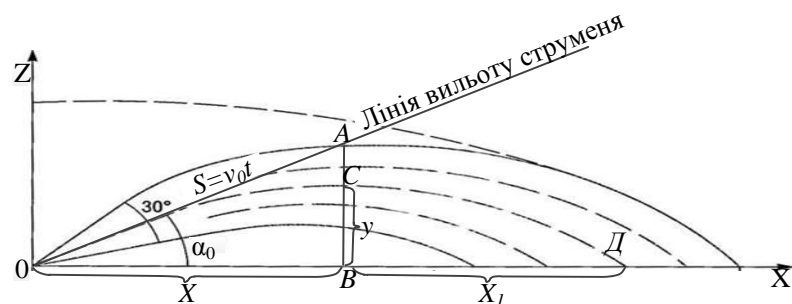


Рис. 2. Ілюстрація до висновку рівняння траєкторії польоту крапель ВГР з початковою швидкістю руху в гравітаційному полі

Тут мається на увазі, що: початкова швидкість вильоту краплі масою m дорівнює v_0 , і опір середовища пропорційно (з коефіцієнтом k) швидкості v елементарної частинки струменя. Позначивши прискорення сили тяжіння через g , отримуємо систему диференціальних рівнянь [8]:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m} \cdot \frac{dx}{dt} = 0 ; \quad \frac{d^2z}{dt^2} + \frac{k}{m} \cdot \frac{dz}{dt} = -g . \quad (2)$$

Відомо, що частне рішення цієї системи в параметричному вигляді запишеться

$$\begin{aligned} x &= a \left(1 - e^{-\frac{g}{c}t} \right) \\ z &= b \left(1 - e^{-\frac{g}{c}t} \right) - ct \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{де } a = \frac{mv_0}{k} \cos \alpha ; \quad b = \frac{m}{k^2} (mg + kv_0 \sin \alpha) ; \quad c = \frac{mg}{k} .$$

Отримане рішення, яке описує зміни координат x і z в залежності від узагальненої координати часу t не зручне для використання на практиці. Тут більш зручним для реалізації є математичний запис рівняння траєкторії в явному вигляді. Його визначити нескладно, якщо в (3) виконати такі дії: спочатку з першого виразу системи (3) знаходимо $1 - e^{-\frac{g}{c}t} = x/a$. Потім, замість $1 - e^{-\frac{g}{c}t}$ підставимо x/a в другий вираз системи (3). В результаті отримаємо

$$z = \frac{b}{a}x - ct, \text{ звідки } t = \frac{bx - az}{ac}.$$

Тепер, підставляючи вираз для часу t в першу формулу (3), знаходимо величину x :

$$x = a \left(1 - e^{-\frac{g}{ac^2}(bx - az)} \right) \text{ звідки } z = \frac{1}{a} \left(bx + \frac{ac^2}{g} \ln \left(1 - \frac{x}{a} \right) \right). \quad (4)$$

Або, в явному вигляді отримуємо:

$$z = \frac{xkmg + xk^2v_0 \sin \alpha + m^2gv_0 \cos \alpha \ln \left(\frac{mv_0 \cos \alpha - xk}{mv_0 \cos \alpha} \right)}{k^2v_0 \cos \alpha}. \quad (5)$$

В результаті маємо вираз (5), який є ідеалізованим описом середньої лінії траєкторії руху струменя ВГР/ГУС в гравітаційному полі, з урахуванням опору повітря. Відповідно джерело одиночного струменя знаходиться на початку своєї системи координат.

В цьому випадку при визначенні параметрів «усереднених» ліній траєкторій кожної зі складових ГУС, спрямованих на вогнище з однаковими початковими умовами (кут α і швидкість v_0) необхідно вирішувати систему нелінійних рівнянь тригонометричного виду:

$$z_1 = \frac{x_1kmg + x_1k^2v_0 \sin \alpha + m^2gv_0 \cos \alpha \ln \left(\frac{mv_0 \cos \alpha - x_1k}{mv_0 \cos \alpha} \right)}{k^2v_0 \cos \alpha},$$

$$z_2 = \frac{x_2kmg + x_2k^2v_0 \sin \alpha + m^2gv_0 \cos \alpha \ln \left(\frac{mv_0 \cos \alpha - x_2k}{mv_0 \cos \alpha} \right)}{k^2v_0 \cos \alpha} \quad (6)$$

Дослідження показали, що рішення систем рівнянь (3) часто призводить до нестабільності обчислювального процесу. Для них рішення можна отримати в замкнутій формі з використанням функції Ламберта $W(x)$ - функції, яка задовольняє умові $W(x)e^{W(x)} = x$ [6]. Таким чином, в середовищі математичного процесора Maple [9] можна знайти аналітичні рішення, що визначають залежність v_0 від α (з використанням функції LambertW (x)), і залежність α від v_0 (з використанням функції RootOf) [10].

Перевірка ефективності способу дистанційного пожежогасіння гелеутворюючими сполуками

Апробація тактичного прийому дистанційної подачі ГУС навісними струменями за допомогою експериментальної установки АУГГУС-М проводилася в умовах полігону. Проведені на полігоні експерименти мали за мету застосування АУГГУС-М для дистанційного гасіння пожеж класу А не тільки ГУС, але і водою. Умови проведення дослідів були аналогічні (для зручності порівняльного аналізу ефективності використання ГУС).

У першій серії дослідів на модельне вогнище 1А, розташоване на дистанції 10 м, в якості вогнегасної речовини спочатку подавалася вода стволами, встановленими на спеціальних штативах і спрямованими на вогнище в площинах прицілювання під рівними кутами нахилу $\alpha_1 = \alpha_2 = 30^\circ$ (рис. 3.8).



Рис. 3 Гасіння модельного вогнища 1А водою з використанням експериментальної установки АУГГУС-М

При цьому, висота розміщення стволів $h_1 = h_2 \approx h$ практично збігалася з рівнем майданчика модельного вогнища “1А” за висотою, причому так щоб мали місце всі ознаки симетричної подачі ВГР/ГУС ($\alpha_1 = \alpha_2$; $\psi_1 = -\psi_2$), щодо розташуванням стволів в площині наведення на вогнище всієї установки.

Отримані результати наведені в табл. 3, де Q – витрати вогнегасної речовини, а t – час гасіння модельного вогнища.

Таблиця 3

Порівняльна оцінка ефективності гасіння модельного вогнища за допомогою води та гелеутворюючих сумішей

№	10 м			
	ГУС		Вода	
	Q, л	t, с	Q, л	t, с
1	4,3	53,2	8,3	86,3
2	3,4	52,5	7,6	90,1
3	3,4	45,6	9	83,6
4	3,5	60,8	8,1	86,3
5	3,1	55,3	9,3	89,5
6	3,2	45,9	8,9	90,8
7	3,9	48,5	8	80,4
8	3,5	58,5	9,5	89,2
9	3,3	55,4	9,4	86,7
10	4	65,3	7,6	88,4
11	3,5	53,2	8	87,2
12	2,9	56,2	9,8	94,4
13	3,4	42,1	8,4	85,8
14	3,9	46,1	7,7	98,4
15	4,1	56	7,9	93,8
16	4,2	41,6	8,4	89,6
17	3,4	55,2	8,3	94,8
18	3,5	54,8	7,2	98,3
19	3,8	61,0	7,7	92,4
20	2,7	55,1	9,9	91,8
\bar{t}	3,55	53,115	8,45	89,89
σ	0,425	6,370	0,800	4,624

Отримані результати по кожному варіанту гасіння, оскільки у кожному випадку використовувалися вибірки з об'ємом $n = 20 < 30$, були перевірені на нормальність розподілу за критерієм Шапіро-Уїлкі [11].

Для цього, наприклад, стосовно до часу гасіння модельного вогнища ГУС з відстані 10 м спочатку були розраховані середнє значення часу гасіння

$$\bar{t}_{ГУС}(10 м) = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ГУС_i}(10 м)}{n}, \quad (7)$$

де $t_{ГУС_i}$ – час гасіння ГУС в і-ому дослідженні, с.

Середньоквадратичне відхилення

$$\sigma_{t_{ГУС}}(10 м) = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (t_{ГУС_i}(10 м) - \bar{t}_{ГУС}(10 м))^2}, \quad (8)$$

та

$$n \cdot m_2 = \sum_{i=1}^n (t_{ГУС_i}(10 м) - \bar{t}_{ГУС}(10 м))^2 = 717,54 \quad (9)$$

де m_2 – вибірковий центральний момент другого порядку.

Оскільки оцінки $t_{ГУС_i}(10 м)$ є результатом обробки незалежних спостережень, вони були розташовані в порядку неспадання і позначені символами $t_{ГУС1}(10 м), t_{ГУС2}(10 м), \dots, t_{ГУСn=20}(10 м)$. В табл. 4 приведена впорядкована серія отриманих значень часу гасіння модельного вогнища ГУС з відстані 10 м.

Таблиця 4

Впорядковані результати часу гасіння модельного вогнища ГУС з відстані 10 м

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_i, с$	65,3	61	60,8	58,5	56,2	56	55,4	55,3	55,2	55,1
$(t_i - \bar{t})^2$	148,47	62,17	59,06	29,00	9,52	8,32	5,22	4,77	4,35	3,94
n	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$t_i, с$	54,8	53,2	53,2	52,5	48,5	46,1	45,9	45,6	42,1	41,6
$(t_i - \bar{t})^2$	2,84	0,01	0,01	0,38	21,30	49,21	52,06	56,48	121,33	132,60
$\bar{t}, с$	53,12									
$\sigma, с$	6,37									
$n \cdot m_2$	771,02									

Також була обчислена (див. табл.5) проміжна сума S по формулі:

$$S = \sum_i^k a_{n-i+1} \cdot (t_{4C(n-i+1)} - t_i) = 26,79, \quad (10)$$

де k – індекс, який має значення від 1 до $n/2 = 12$; a_{n-i+1} – коефіцієнт, який має спеціальні значення для обсягу вибірки n (його значення, що наведені в табл. 3.7, взяті з табл.10 [11]).

Таблиця 11 [11] для рівня значимості $\alpha=0,05$ та $n=20$ дає значення $W_{\text{табл}} = 0,905$. Оскільки

$$W = \frac{S^2}{n \cdot m^2} = \frac{717,54}{771,02} = 0,931 \geq W_{\text{табл}} = 0,905, \quad (11)$$

розподіл у відповідності до [11] вважається нормальним.

Таблиця 5

Упорядкована серія отриманих значень часу гасіння модельного вогнища ГУС з відстані 10 м

k	$t_{(20-k+1)}, c$	t_k, c	$t_{(20-k+1)} - t_k, c$	a_{n-k+1}	$a_{n-k+1} \cdot (t_{(20-k+1)} - t_k)$
1	65,3	41,6	23,7	0,4493	10,648
2	61	42,1	18,9	0,3098	5,8552
3	60,8	45,6	15,2	0,2554	3,8821
4	58,5	45,9	12,6	0,2145	2,7027
5	56,2	46,1	10,1	0,1807	1,8251
6	56	48,5	7,5	0,1512	1,134
7	55,4	52,5	2,9	0,1245	0,3611
8	55,3	53,2	2,1	0,0997	0,2094
9	55,2	53,2	2	0,0764	0,1528
10	55,1	54,8	0,3	0,0539	0,0162
S					26,787
S ²					717,54

Розрахунки, аналогічні (7)-(11), були виконані також для аналізу витрат вогнегасної речовини та часу гасіння модельного вогнища у відповідності до вихідних даних, що наведені в табл. 3. Вони показали, що отримані результати розподілені за нормальним розподілом. Це дозволило перейти до перевірки, наскільки значимо різняться середні значення витрат вогнегасної речовини та часу гасіння модельного вогнища, отримані по незалежним вибіркам, використовуючи t-критерій Стьюдента [12].

В цьому випадку, наприклад для ситуації, коли порівнюється час гасіння модельного вогнища з відстані 10 м, розглядалась гіпотеза

$$H_0 : \bar{t}_{ГУС}(10 м) = \bar{t}_{вода}(10 м) \quad (12)$$

та її альтернатива

$$H_1 : \bar{t}_{ГУС}(10 м) \neq \bar{t}_{вода}(10 м), \quad (13)$$

яка доводить відмінність середніх значень.

З метою вибору конкретної методики розрахунку t-критерію спочатку була перевірена гіпотеза про рівність дисперсій. У якості критерія для перевірки нуль-гіпотези

$$H_0 : \sigma_{ГУС}(10 м) = \sigma_{вода}(10 м) \quad (14)$$

був обраний F-критерій

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = \frac{6,37}{4,62} = 1,38, \quad (15)$$

де σ_1^2 – більша з оцінок дисперсій в двох вибірках.

При цьому критичне значення $F_{кр}$, яке при рівні значимості $\alpha = 0,05$ та числі ступенів свободи

$$\nu_{ГУС}(10 м) = n_{ГУС} - 1 = 19, \quad \nu_{вода}(10 м) = n_{вода} - 1 = 19, \quad (16)$$

де $n_{ГУС} = n_{вода} = 20$ – кількість експериментальних результатів, в яких оцінювався час гасіння модельного вогнища за допомогою ГУС та води відповідно, дорівнює

$$F_{кр} = F_{табл} = 2,15. \quad (17)$$

Видно, що в розглянутих випадках правомірною визнається нуль-гіпотеза (13) та допускається рівність дисперсій під час гасіння модельного вогнища за допомогою ГУС та води.

Виходячи з цього, стандартна помилка різниці $S_t(10 м)$, з урахуванням того, що вибірки малого розміру (<30), та число ступенів свободи ν при обчисленні t-критерію розраховуються наступним чином

$$S_t(10 м) = \sqrt{\frac{(n_{ГУС} - 1) \cdot \sigma_{ГУС}^2 + (n_{вода} - 1) \cdot \sigma_{вода}^2}{n_{ГУС} + n_{вода} - 2} \cdot \left(\frac{1}{n_{ГУС}} + \frac{1}{n_{вода}} \right)} = \quad (18)$$

$$= \sqrt{\frac{(20 - 1) \cdot 6,37^2 + (20 - 1) \cdot 4,62^2}{20 + 20 - 2} \cdot \left(\frac{1}{20} + \frac{1}{20} \right)} = 1,76;$$

$$n_{ГУС} + n_{вода} - 2 = 38. \quad (19)$$

В результаті

$$t_{набл} = \frac{|\bar{t}_{ГУС}(10 м) - \bar{t}_{вода}(10 м)|}{S_t(10 м)} = \frac{|53,12 - 89,89|}{1,76} = 10,91. \quad (20)$$

Оскільки

$$t_{набл} = 10,91 > t_{табл}(\alpha = 0,05) = 2,04, \quad (21)$$

можна говорити, що при рівні значимості $\alpha=0,05$ результати, отриманні під час гасіння модельного вогнища водою та ГУС відрізняються.

Аналогічним чином у відповідності до (12)-(21) була перевірена відмінність у витратах вогнегасної суміші та часі гасіння у відповідності до вихідних даних, які наведені в табл. 3.

Таблиця 6

Результати перевірки ефективності способу дистанційного пожежогасіння гелеутворюючими сполуками шляхом бінарної подачі компонентів вогнегасної речовини

	10 м			
	Q, л		t, с	
	ГУС	Вода	ГУС	Вода
x	3,55	8,45	53,115	89,89
G	0,425	0,800	6,370	4,624
F _{набл}	1,88		1,38	
Висновок	H ₀		H ₀	
t _{табл}	2,04			
t _{набл}	2,27		10,91	
Висновок	H ₁		H ₁	

Аналіз результатів, що наведені в табл.6, показує, що відмінність у витратах вогнегасної суміші та часі гасіння є суттєвою.

Висновки. 1. Для отримання аналітичних виразів, що описують рух гелеобразуючих вогнегасних складів при різних початкових умовах подачі двох компонент ГОС зі зрізу стволів-розпилювачів, запропонований підхід до визначення параметрів їх траєкторій цілеспрямованих на вогнище пожежі.

2. Встановлено, що з надійністю 0,95 для проведення досліджень щодо ефективності бінарної подачі гелеутворюючої суміші до осередку пожежі можна використовувати воду.

3. З рівнем значимості $\alpha=0,05$, розрахованим за критерієм Стьюдента, результати гасіння модельного вогнища за допомогою розробленого способу дистанційного пожежогасіння гелеутворюючими сполуками шляхом бінарної подачі вогнегасної речовини є кращими, ніж у випадку гасіння модельного вогнища за допомогою води, що підтверджує його ефективність.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные средства повышенной эффективности применительно к пожарам класса А: монография / Ю.А. Абрамов, А.А. Киреев. — Харьков: НУЦЗУ, 2015. — 254 с.

2. Киреев А.А. Определение показателя огнетушащей способности гелеобразующих огнетушащих составов при тушении модельного очага пожара 1А / А.А. Киреев, К.В. Жерноклёв, А.В. Савченко // Проблемы пожарной безопасности. – 2010 – Вып. 28. – С. 74 – 80. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol28/29.pdf>.

3. Анализ процесса подачи и траектории потока струй огнетушащего вещества установкой АУТГОС / С.В. Росоха, Ю.Н. Сенчихин, А.А. Киреев, К.М. Остапов // Проблемы пожарной безопасности – Харків: НУЦЗУ, 2015. – Вып. 38. – С. 56–65. – Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3311>

4. Ольшанский В.П. Вопросы внешней баллистики огнетушащих веществ / В.П. Ольшанский, О.А. Дубовик. – Харьков. «Митець», 2005. – 236 с.

5. Абрамов Ю.А. Моделирование процессов в пожарных стволах / Ю.А. Абрамов, В.Е. Росоха, А.Е. Шаповалова. – Харьков: Фолио, 2001. – 195 с.

6. Куценко Л.М. Методи геометричного моделювання в задачах пожежної безпеки / Куценко Л.М., Бобов С.В., Росоха С.В. – Харків : АЦЗУ, 2004. – 175 с.

7. Рева Г.В. Анімаційне комп'ютерне моделювання деяких процесів в задачах пожежної безпеки / Г.В. Рева, Л.М. Куценко, С.В. Росоха // Проблемы пожарной безопасности. Юбилейный выпуск. – Харьков : АПБУ, 2003. – С.147–163.

8. Кузьо І. В. Теоретична механіка. Динаміка: [навч. посіб. для вищ. техн. навч. закл. III-IV рівнів акредитації]. Кн.1 / І. В. Кузьо, Т. М. Ванькович, Я.А. Зінько. – Львів : Растр-7, 2012. – 444 с.

9. Аладьев В. З. Программирование и разработка приложений в Maple: монография / В. З. Аладьев, В. К. Бойко, Е. А. Ровба. – Гродно : ГрГУ; Таллинн : Межд. акад. Ноосферы, Балт. отд., 2007. – 458 с.

10. Valluri S.R., Jeffrey D.J., Corless R.M. Some applications of the Lambert W function to physics / S.R. Valluri, D.J. Jeffrey, R.M. Corless // Canadian : J. Physics, 2000. – Vol 78. – p. 823–831.

11. Свердан М.М. Основи наукових досліджень: навч. посіб. / М.М. Свердан, М.Р. Свердан. – Чернівці : Рута, 2006. – 352 с.

12. Лугінін О.Є. Статистика. Підручник. 2-е видання, перероблене та доповнене / О.Є. Лугінін. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 608 с.

V.V. Strelec, Y.M. Senchykhin, V.V. Sirovoj, K.M. Ostapov

Анализ процесса подачи гелеобразующих составов

Получены аналитические выражения, позволяющие строить траектории движения струй гелеобразующих составов для составления алгоритмов трассировки их движения, которые необходимы при решении задач обеспечения эффективного тушения и защиты объектов пожаротушения с использованием минимального количества огнетушащих веществ. Установлено, что с надежностью 0,95 для проведения исследований по эффективности бинарной подачи гелеобразующих составов к очагу пожара можно использовать подкрашенную воду.

Ключевые слова: гелеобразующие составы, огнетушащие вещества, траектории движения, угол, скорость.

V.V. Strelec, Y.M. Senchykhin, V.V. Sirovoj, K.M. Ostapov

Analysis of the process of feeding the gel-forming compositions

Analytical expressions have been obtained that allow the construction of the trajectories of the motion of the jets of gelling compositions for the compilation of algorithms for tracing their movements, which are necessary when solving problems of ensuring effective extinguishing and protection of fire extinguishing objects using the minimum amount of extinguishing agents. It has been established that with a reliability of 0.95, tinted water can be used to conduct research on the effectiveness of the binary supply of gelling compositions to the fire site.

Key words: gel-forming components (GFC), fire-extinguishing substances, installation, trajectory of motion, angle, speed.